

АНАЛІЗ МЕТОДІВ КОМПЛЕКСУВАННЯ СИГНАЛІВ ПАРЦІАЛЬНИХ СПЕКТРАЛЬНИХ КАНАЛІВ У СИСТЕМАХ МОНІТОРИНГУ ОБ’ЄКТІВ ТА СЦЕН

© Гривачевський А. П., 2015

Проаналізовано методи комплексування даних парціальних спектральних каналів багатоспектральної системи моніторингу об’єктів та сцен різних ділянок спектра електромагнітних хвиль. Зазначено основні вимоги, які ставляться перед задачею комплексування парціальних спектральних каналів.

Проаналізовано два методи комплексування, що ґрунтуються на підсиленні відмінностей між зображеннями та на окремому аналізі низько- та височастотних складових спектра зображень.

Описано ідею щодо можливої реалізації системи моніторингу об’єктів та сцен з максимальним рознесенням за частотою парціальних спектральних каналів та наведено структурну схему такої багатоспектральної системи.

Ключові слова: комплексування зображень, парціальний канал, юстування каналів, дистанційний моніторинг, багатоспектральні системи.

A. P. Hryvachevskyi
Lviv Polytechnic National University

ANALYSIS OF THE METHODS OF SIGNAL DATA FUSION OF PARTIAL SPECTRAL CHANNELS IN THE MONITORING SYSTEMS OF OBJECTS AND SCENES

© Hryvachevskyi A. P., 2015

The article analyzes the methods of data fusion partial spectral channels multispectral system of monitoring objects and scenes, working in various parts of the electromagnetic spectrum whose essence is to implement process optimal joint processing of reflected signals and self-radiation of the observed objects. Shown basic requirements are put before the task of interconnecting partial spectral channels.

It is proved that for maximum information content data obtained by remote monitoring is necessary to use sensors of various physical nature, which operate in different parts of the electromagnetic spectrum, namely microwave (RF), infrared and optical diapasons.

The analysis of the two methods of images data fusion, the first of which is based on increasing the differences between the images obtained from various partial channels multispectral monitoring system, and the second on the separate analysis of low-frequency and high-frequency spectral components of the image. Moreover, both of these algorithms complement each other and can be used simultaneously.

It was found that significant difficulties in the images data fusion discussed methods associated with the exact matching partial channels with spatial coordinates; search for best practices to eliminate the inverse display of individual objects in different zones of the spectral and radiometric distortion (noise); selecting the best algorithm for determining the weighting coefficients of the partial channels, and the like.

Described the idea of a possible implementation of the system of monitoring objects and scenes with maximum frequency diversity partial spectral channels and propose options for the overall structure of a multispectral system.

Key words: data fusion images, partial channel, adjustment channels, remote monitoring, multispectral system, sensor.

Вступ

Дистанційний моніторинг об'єктів та сцен для розв'язання загальноінженерних і спеціальних задач є одним з найважливіших напрямів розвитку сучасних радіоелектронних та інформаційних технологій [6, 8]. З появою супутникових систем дистанційного зондування, що здатні забезпечити безперервний моніторинг земної поверхні, забезпечуючи високу роздільну здатність та адаптивність сенсорів до різних видів наземних покривів, попит на використання такої інформації з'явився чи не у кожній галузі, як для цивільних, так і для військових потреб [6]. Прикладами таких галузей є сільське господарство, лісництво, земельне господарство, картографія, геологія, гідрологія тощо. Практично всі сучасні системи дистанційного зондування для отримання інформації використовують сенсори, які працюють у різних ділянках спектра електромагнітних хвиль (ЕМХ), зокрема радіо-, інфрачервоного і видимого діапазонів. Через нерівноцінність сенсорів за віддалю дії, завадозахищеністю та інформативністю (різні вимірювані координати, різна роздільна здатність за вимірюваними координатами) задача обробки інформації переважно полягає у комплексуванні даних окремих парціальних каналів, з метою підвищення завадозахищеності системи загалом та поєднання переваг кожного із каналів у межах єдиної інформаційно-вимірювальної системи [1, 4]. Метою роботи є аналіз методів комплексування даних парціальних спектральних каналів системи моніторингу об'єктів та сцен, сенсори якої працюють у різних ділянках спектра ЕМХ. Окремі аспекти процесу комплексування розглядаються в роботах [2–5, 7, 10–13].

Суть ідеї комплексування

Під комплексуванням розуміють сукупність технічних рішень на апаратному і програмному рівнях, спрямованих на підвищення інформативності та завадостійкості системи дистанційного моніторингу об'єктів та сцен через об'єднання переваг парціальних спектральних каналів [7]. Ключовою ідеєю комплексування є реалізація алгоритмів оптимальної сумісної обробки відбитих сигналів і сигналів власного випромінювання спостережуваних об'єктів.

Зауважимо, що для досягнення максимальної інформативності та завадозахищеності необхідно формувати зображення парціальних каналів у істотно рознесених за частотою спектральних ділянках, зокрема радіо-, інфрачервоному і видимому діапазонах. Це обґрунтовано тим, що завада, яка погіршує роботу одного парціального каналу, малоімовірно, чи впливатиме на інший парціальний канал, який значно рознесений за частотою [3].

Кожен із цих діапазонів має переваги й обмеження щодо застосування внаслідок різних фізичних принципів формування і подання даних (зазвичай у вигляді двовимірних зображень). Тому об'єднання даних, отриманих від різних сенсорів, надає безперечний вигравш порівняно з роздільною обробкою, за рахунок збільшення обсягу отриманої інформації завдяки як взаємодоповнюваності, так і взаємозамінності.

Зображення в оптичному діапазоні містять інформацію про відбиту або перевідбиту енергію сонячного світла, про хімічний склад поверхневого шару Землі тощо, а зображення, отримані в ІЧ-діапазоні, дають інформацію про розподіл температурних полів. Зображення, отримані в мікрохвильовому діапазоні, надають інформацію про геометричні та фізичні параметри поверхні (шорсткість, фізичну структуру та діелектричні властивості). Наявність у системі радіолокаційного каналу важлива ще й через те, що його ефективність роботи залежить від погоди та часу доби

менше, ніж ефективність роботи інфрачервоних та оптичних каналів. Окрім того, радіолокаційний канал дозволяє визначити відстань до спостережуваних об'єктів і їх швидкість руху.

У загальному випадку комплексування може набувати двох форм [3]:

– інформаційне комплексування – передбачає апаратно-програмне об'єднання парціальних спектральних каналів з метою досягнення інформаційних переваг багатоспектральної системи на всіх етапах спостереження (виявлення, вимірювання координат і параметрів руху, розпізнавання об'єктів що спостерігаються);

– конструктивне комплексування (інтеграція) – поряд з інформаційним передбачає об'єднання парціальних спектральних каналів різних діапазонів у межах єдиного апаратного виконання апертурної частини з метою зменшення масогабаритних характеристик і поліпшення експлуатаційних показників (часової взаємосинхронізації та просторового взаємоюстування каналів).

Не вводячи обмежень на кількість парціальних каналів і фізичну природу сенсорів, доцільно здійснювати комплексування зображень окремих каналів з урахуванням таких вимог [10]:

– комплексоване зображення повинно відрізнятися від вихідних зображень парціальних каналів кращою якістю стосовно розв'язання основних задач моніторингу (виявлення, розпізнавання, вимірювання координат спостережуваного об'єкта), тобто необхідне забезпечення максимальної інформативності комплексованого зображення, що полягає у додаванні до базового зображення усіх відмінностей між зображеннями інших каналів;

– якість комплексованого зображення повинна бути не гіршою за якість зображення одного парціального каналу в разі блокування (ураження завадою) інших каналів;

– алгоритм компіляції повинен бути максимально інваріантним до статистичних характеристик сигналів та завад парціальних спектральних каналів;

– одержання зображення у будь-яких погодних умовах і в довільний час доби.

Алгоритми комплексування

Інформаційне комплексування, у загальному випадку, допускає об'єднання інформаційних переваг парціальних спектральних каналів та може бути реалізовано на різних рівнях [10, 12–14]:

– на основі даних (піксельний рівень);

– на основі інформативних ознак спостережуваних об'єктів;

– на основі статистичних рішень, прийнятих поканально.

Перші два рівні комплексування вимагають сумірності просторових роздільних здатностей парціальних каналів. Третій рівень комплексування інваріантний до побудови і характеристик парціальних каналів.

Комплексування зображень на рівні даних (пікселів) характеризується найвищими обчислювальними витратами, оскільки використовує дані від усіх сенсорів, що забезпечує найкращі результати. Якщо розглядати умову відсутності втрат у процесі приймання, якість комплексування даних на цьому рівні суттєво залежить від застосовуваних методів подальшої обробки. Для реалізації піксельного комплексування кожен піксел зображення у парціальному каналі повинен відповідати тому самому елементу сцени, тобто відповідати тим самим кутовим координатам [10]. Це можливо забезпечити скануванням зони спостереження взаємоюстованими давачами парціальних каналів для забезпечення взаємоузгодження формованих зображень за кутовими координатами. Дані, отримані на основі сенсорів, що працюють на подібних фізичних принципах, переважно є співрозмірними, тому масиви даних відповідних сенсорів можуть бути використані безпосередньо. У разі неспіврозмірних вимірювань перед початком комплексування необхідно застосовувати повторну дискретизацію та компенсацію деформацій [11].

Піксельне комплексування зображень окремих спектральних каналів здійснюється так:

$$I(x, y) = \bigcup_i a_i(x, y) \cdot I_i(x, y) \quad (1)$$

де $I_i(x, y)$ – інтенсивність пікселя зображення i -го каналу, залежно від просторових координат; $a_i(x, y)$ – ваговий коефіцієнт для інтенсивності пікселя зображення відповідного каналу; $I(x, y)$ – результат комплексування.

На цьому етапі виникає проблема вибору оптимальної методики для підбору вагових коефіцієнтів для зображень кожного спектрального каналу, в [10] проведено дослідження таких способів підбору вагових коефіцієнтів:

1) використання однакових вагових коефіцієнтів для кожного каналу;

2) визначення вагових коефіцієнтів здійснюється на основі проведення розрахунку взаєморелюації пар зображень окремих каналів, як критерію їх подібності, в результаті ваговий коефіцієнт для комплексування пари каналів, залежно від просторової координати окремого пікселя, визначатиметься на основі максимуму коефіцієнта взаємної кореляції пари зображень в межах “вікна”, із центром у точці, що відповідає просторовим координатам відповідних комплексованих пікселів зображень окремих каналів.

Комплексування на рівні ознак потребує попереднього незалежного виділення цих характерних ознак шуканого об’єкта на зображеннях з кожного парціального каналу (процедура сегментації). Відтак обробляють саме ці ознаки (виділені об’єкти). Зауважимо, що кожен об’єкт зображення можна охарактеризувати набором ознак, котрі можна використати для їх аналізу і розпізнавання. Для статистичного оцінювання форми і розміру об’єктів на зображенні чи класифікації об’єктів найчастіше використовують морфометричні ознаки [13]. Площа є однією із основних морфометричних ознак, широко використовується для описання об’єктів і обчислення коефіцієнтів форми. Задачею розрахунку коефіцієнта форми є математичний опис форми об’єкта.

Комплексування на рівні отриманих поканально статистичних рішень є найзагальнішим інформаційним підходом до підвищення ефективності багатоспектральних систем моніторингу, в якому кожне зображення обробляється окремо, виділяється необхідна інформація, після чого результати об’єднують, використовуючи певні правила прийняття рішень для узгодження результатів.

Задачі комплексування поділяють на геометричні та радіометричні. Геометричне комплексування ґрунтується на субпіксельному суміщенні даних із різних спектральних зон в єдиній системі координат. Ціллю радіометричного комплексування є об’єднання різнозональних даних з метою передавання на синтезоване зображення всіх об’єктів, які спостерігаються на різнозональних знімках з максимально можливою чіткістю [9].

Багатоканальний принцип знімання ґрунтується на інтегруванні відбитої від поверхні Землі електромагнітної енергії в декількох діапазонах:

$$B_i = \int_{I_i^{\min}}^{I_i^{\max}} L(I) S_i(I) dI, \quad (2)$$

де $B_i = [B_i(m, n)]$ – дискретне зображення i -го спектрального каналу; m, n – відповідно номери стовпця та рядка зображення: $m = \overline{0, M-1}$, $n = \overline{0, N-1}$; $L(I)$ – коефіцієнт спектральної яскравості спостережуваної сцени; $S_i(I)$ – спектральна чутливість сенсора в діапазоні довжин хвиль $[I_i^{\min}, I_i^{\max}]$.

В літературі [9, 10] представлено декілька алгоритмів радіометричного комплексування. Перший ґрунтується на підсиленні відмінностей зображень, в основу другого алгоритму покладено аналіз низько- та височастотних складових кожного зображення, причому обидва алгоритми успішно доповнюють один одного.

Основна проблема вирішення завдання радіометричного комплексування геометрично суміщених зображень B_i , $i = \overline{1, k}$, де k – кількість каналів, пов'язана з явищем інверсного відображення окремих об'єктів на різних зонах спектра, яке не дає можливості використовувати відомі методи статистичного вирівнювання та яскравісної інтерпретації. Інша проблема пов'язана з наявністю на вихідних зображеннях радіометричних спотворень (шумів). Вважатимемо, що перед виконанням комплексування вихідні спектральнозональні зображення очищуються від шумів та вирівнюються за середньою яскравістю.

Нехай отримані три зображення у різних спектральних каналах: $B_1 = [B_1(m, n)]$, $B_2 = [B_2(m, n)]$ і $B_3 = [B_3(m, n)]$. Найцінніша інформація зазвичай міститься на однойменних ділянках зображень які значно відрізняються за яскравістю, тому для врахування відмінностей відбивної здатності точок місцевості в конкретних зонах спектра вводиться коефіцієнт g , який визначає ступінь підсилення відмінностей між зображеннями.

У результаті підсилення спектральнозональних відмінностей з урахуванням коефіцієнта g , з B_1 , B_2 , B_3 формуються зображення B_1^* , B_2^* , B_3^* [9]:

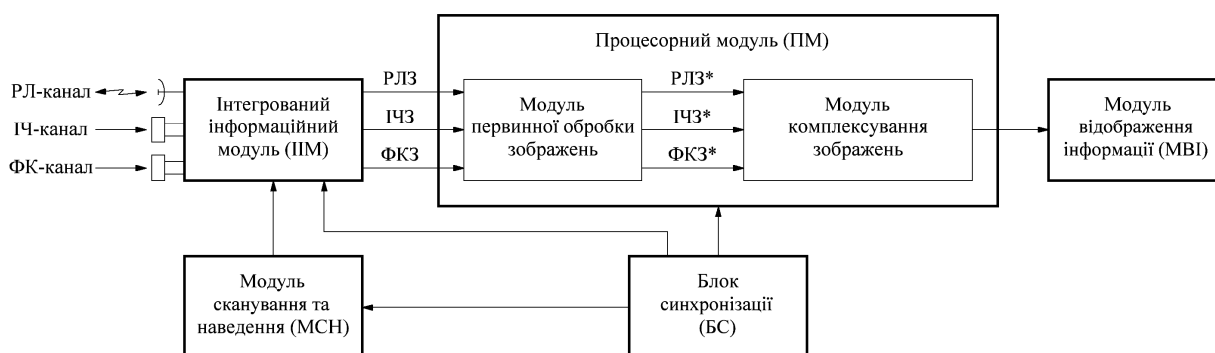
$$B_i^* = g \times B_i(m, n) + \frac{1}{k} \times (1 - g) \times \sum_{i=1}^k B_i(m, n), \quad (3)$$

де g – коефіцієнт, який визначає ступінь підсилення відмінностей в зображеннях.

Результуюче панхроматичне зображення D можна утворити поелементним підсумуванням B_1^* , B_2^* , B_3^* .

Основні відмінності зображень, які обробляються, містяться у високочастотних складових, в яких є інформація про контури та межі об'єктів спостережуваної сцени. Тому доречно окремо обробляти низько- та високочастотні складові отриманих зображень B_1^* , B_2^* та B_3^* .

На основі аналізу задачі комплексування та викладеної в статті [5] ідеї щодо можливої реалізації системи моніторингу об'єктів та сцен з максимальним рознесенням за частотою парціальних спектральних каналів пропонується можливий варіант загальної структури такої системи (див. рисунок).



Структурна схема багатоспектральної системи моніторингу

Інтегрований інформаційний модуль (ІІМ), у загальному випадку, містить:

- єдину діаграмоутворювальну структуру формування передавальних та приймальних трактів парціальних спектральних каналів;
- приймально-передавальний пристрій радіолокаційного (РЛ) каналу;

- приймач інфрачервоного (ІЧ) каналу;
- приймач фотоконтрастного (ФК) каналу.

Вихідними сигналами ПМ є сформовані радіолокаційне зображення (РЛЗ), інфрачервоне зображення (ІЧЗ) та фотоконтрастне зображення (ФКЗ).

Процесорний модуль (ПМ) реалізує алгоритм комплексної обробки радіолокаційного, інфрачервоного та фотоконтрастного зображень, який здійснюється в два етапи.

На першому етапі відбувається первинна обробка зображень парціальних каналів, яка передбачає:

- форматне й масштабне суміщення зображень;
- фільтрацію шумів;
- компенсацію відносного дрейфу оптичних осей парціальних каналів.

На другому етапі здійснюється комплексування, тобто одержання із зображень парціальних каналів інтегрованого зображення.

Висновки

Проведений аналіз публікацій, що стосується методів комплексування зображень в системах моніторингу об'єктів та сцен із застосуванням багатоспектральних сенсорів (тобто парціальних спектральних каналів, які працюють у різних ділянках ЕМХ), свідчить про наявність нерозв'язаних задач, які виникають під час такого комплексування. Так, аналіз двох методів комплексування, перший з яких ґрунтується на підсиленні відмінностей між зображеннями з різних каналів, а другий на окремій обробці низько- та високочастотних складових зображень сцени, яка спостерігається, показує, що значні труднощі під час комплексування пов'язані з точним узгодженням (взаємостуванням) парціальних каналів за просторовими координатами; пошуком оптимальних методів усунення інверсного відображення окремих об'єктів у різних зонах спектра та радіометричних спотворень (шумів); вибором алгоритму визначення вагових коефіцієнтів парціальних каналів тощо. Розв'язання зазначених вище задач потребує детальних досліджень у цьому напрямі.

1. Авласёнок А. В. *Современные требования к многоспектральным автоматам сопровождения целей для систем высокоточного оружия и возможные пути их реализации* / А. Авласёнок, Е. Алексеев, С. Литвинов, Ф. Савицкий // *Радиоэлектроника*. – 2008. – № 6. – С. 54–60.
2. Волосюк В. К. *Комплексування активних і пасивних радіолокаційних систем дистанційного зондування* / В. К. Волосюк, В. Ф. Кравченко // *Зарубежна радіоелектроніка*. – 2002. – № 2. – С. 3–23.
3. Зубков А. Н. *Інтегровані багатоспектральні системи геомоніторингу. Концепція побудови* / А. Н. Зубков, І. Н. Прудіус // *Прикладна радіоелектроніка. Стан і перспективи розвитку: сб. научн. труд. 3-го Междунар. радиоэлектронного форума*. – 2008. – Харків. – С. 283–286.
4. Зубков А. Н. *Інтегровані багатоспектральні пошуково-прицельні системи для ракетно-артилерійського озброєння* / А. Н. Зубков, А. А. Щерба // *Артилерійське і стрелкове озброєння*. – 2009. – № 1. – С.14–18.
5. Зубков А. М. *Локаційний моніторинг, стан та перспективи розвитку* / А. М. Зубков, А. В. Д'яков, С. А. Мартиненко // *Геоінформаційні системи у військових задачах: другий науково-технічний семінар 21–22 січня 2011 року*. – Львів: АСВ, 2011. – С. 125–130.
6. Мельник Ю. А. *Радіолокаційні методи дослідження Землі* / Мельник Ю. А., Зубкович С. Г., Степаненко В. Д. і др.; под ред. Ю. А. Мельника. – М.: Сов. радио, 1980. – 262 с.
7. Мимріков Д. О. *Інформаційне комплексування даних парціальних каналів локації* / Д. О. Мимріков, С. Є. Фабіровський // *Сучасні проблеми радіотехніки та телекомунікації РТ-2013: ІХ міжн. молод. наук.-практ. конф., 22–26 квітня 2013 р.: тези доп.* – Севастополь, 2013. – С. 77.
8. Мосов С. П. *Моделі використання супутникової гіперспектральної апаратури для виявлення об'єктів космічної розвідки* / С. П. Мосов, С. А. Станкевич, С. О. Пономаренко, О. М. Собчук //

Труди Нац. акад. оборони України. – Вип. 63. – К.: НАО, 2005. – С. 99–109. 9. Никитин О. Р. Радиометрическое комплексирование многоспектральных изображений земной поверхности / О. Р. Никитин, А. Н. Кисляков, А. А. Шулятьев // Радиотехнические и телекоммуникационные системы. – Муром. – 2012. – № 1. – С. 54–58. 10. Прудюс І. Н. Багаторівневе комплексування графічної інформації в системах дистанційного зондування / І. Н. Прудюс, Л. В. Лазько, С. О. Семенов // Вісник Нац. ун-ту “Львівська політехніка”. “Радіоелектроніка та телекомунікації”. – 2007. – № 618. – С. 3–11. 11. Прудюс І. Н. Піксельне комплексування даних на основі локальної кореляції у системах дистанційного зондування / І. Н. Прудюс, Л. В. Лазько, С. О. Семенов // Вісник Нац. ун-ту “Львівська політехніка”. “Радіоелектроніка та телекомунікації”. – 2007. – № 595. – С. 55–60. 12. Dong Jiang, Dafang Zhuang and Yaohuan Huang (2013). Investigation of Image Fusion for Remote Sensing Application, New Advances in Image Fusion, Dr. Qiguang Miao (Ed.), ISBN: 978-953-51-1206-8; 13. Dong Jiang; Dafang Zhuang; Yaohuan Huang; Jingying Fu.(2009). Advances in multi-sensor data fusion: algorithms and applications. Sensors, Vol.9, No.10, pp.7771-7784, ISSN 1424-8220; 14. Hall D. (ed) and Llinas J. (ed.), Handbook of Multisensor Data Fusion, CRC Press LLC, 2001; 15. Haralick R.M., Shapiro L.G. Computer and Robot Vision. V. I. Addison-Wesley, 1992.